

60GHz帯自動車用ミリ波レーダ

60GHz Millimeter-Wave Automotive Radar

山脇 俊樹 *Toshiki Yamawaki*

山野 眞市 *Shinichi Yamano*



要 旨

自動車用ミリ波レーダは既存装置のレーザーレーダと比較し、感知精度が高いこと、霧、雨、雪などの自然現象の影響を受けにくいことから、将来の自動車安全走行支援システムには不可欠なレーダ装置である。このため各自動車メーカーでは自動車の前方を監視して衝突警報やクルーズコントロールのインテリジェント化などを行うため、ミリ波レーダの搭載を計画している。

当社のミリ波レーダ装置は、1996年3月に（財）無線設備検査検定協会より、日本で初めて技術適合証明を取得し、1997年3月に建機向けレーダとして製品化した。

本論では、HEMTを用いたミリ波ユニットや平面アンテナ、フィールドでのレーダ性能など、今回製品化を行なったミリ波レーダについて述べる。

Abstract

The millimeter-wave automotive radar has higher perception accuracy and robustness to adverse weather such as fog, rain, and snow than current laser radar device. Therefore, automobile manufacturers are investigating to apply the forward-looking millimeter-wave radar sensors to the collision warning systems, intelligent cruise control systems, and other advanced cruise-assist systems.

In March 1996, the first in Japan our millimeter-wave radar system received the certification of compliance with technical standards from the Radio Equipment Inspection and Certification Institute and was offered for construction machines, in March 1997.

This article discussed a millimeter-wave IC unit with HEMT, a planer antenna, and the performance of the radar.

1.はじめに

ミリ波は、通信分野で広帯域伝送を目的として、簡易無線装置が実用化されているが、波長が短いことによるアンテナの小型化や気象の影響を受けにくいことなどより、レーダ用として開発が進められている。また電波行政面でも自動車にも使用できる周波数として日本国内では、60GHz帯の割当がすでに法制化され、76GHz帯も準備が進められている。また、欧米における周波数割当も順調に進んでいる。

ミリ波レーダは、従来からある衝突警報、障害物警報のような単なる表示、警報の他にICCといった、スロットルやブレーキなどの車両制御も含めた自動車走行支援システムの重要なセンサとして発展しようとしている。

2. ミリ波レーダの特徴

ミリ波とは、一般に30GHz～300GHz(波長10mm～1mm)の周波数帯であり、波長が非常に短い電波である。本節ではミリ波レーダの特徴として、アンテナビーム幅とアンテナの大きさ、伝播損失、気象の影響について述べる。

2.1 アンテナビーム幅とアンテナの大きさ

機器のサイズはアンテナ寸法に大きく影響を受ける。アンテナビーム幅は、アンテナ利得をG()とすると最大利得の1/2になる広がり角度 で示される。

$$70 \times \theta / D \dots \dots (1)$$

θ : 波長

D : アンテナ開口長

式(1)より計算した周波数とアンテナサイズの関係を図-1に示す。

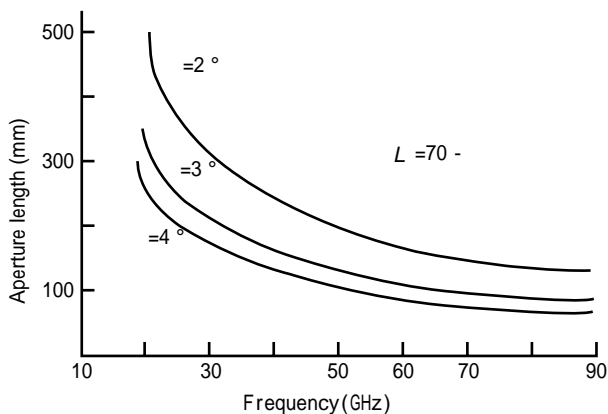


図-1 周波数とアンテナサイズの関係
Fig.1 Beam width vs. antenna aperture

また、アンテナの最大利得G maxは次式で示される。

$$G_{max} = 27000 / (H \times v) \dots \dots (2)$$

H、 v:水平、垂直のビーム幅

式(1)(2)からわかる様に、ビーム幅や利得が与えられた時、その特性を得るのに必要なアンテナ寸法は、波長が短いほど小さくなる。

2.2 伝播損失

伝播損失の主な要因としては、大気による減衰が挙げられ、図-2に周波数に対する大気による減衰特性を示す。22、183、323GHzで水蒸気による共鳴吸収が表れ、また、60、119GHzでは酸素分子による吸収が表れる。

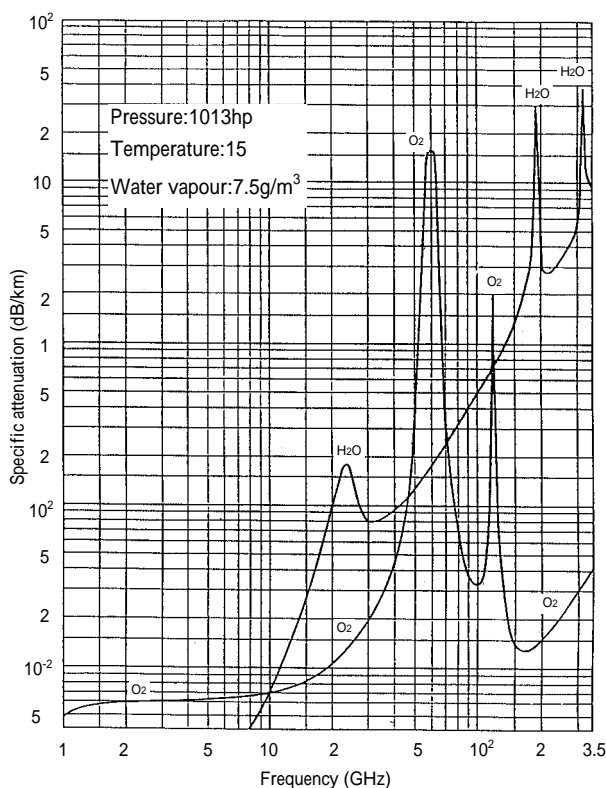


図-2 大気による減衰特性
Fig.2 Specific attenuation due to atmospheric gases.

2.3 気象の影響

ミリ波帯を使用する上で最も問題となるのは、降雨による影響である。

これは、空間伝播における雨滴による減衰と、雨滴からの反射が擬似目標となることによる探知性能の劣化である。雨滴による受信電力の減少は100mで3～4dB程度でほとんど問題とならないが、雨滴からの不要反射電力は、FM-CWレーダでは、探知領域からの反射がすべて加わる。²⁾

3. レーダ概要

本節では、世界の周波数割当動向と今回製品化したミリ波レーダの概要を示す。

3.1 周波数割当動向

日米欧における自動車用ミリ波レーダの周波数割当を表-1に示す。日本においては、既に60GHz帯において法制化がなされており、実用化への機運が高まっている。

表-1 日米欧における自動車用ミリ波レーダの周波数割当

周波数 地域	47GHz	60GHz	76GHz	94GHz	139GHz
日本		60-61	76-77		
米国	46.7-46.9		76-77	94.7-95.7	139-140
欧州			76-77		

割当決定
割当検討予定

また、1997年5月、郵政省は「76GHz帯の周波数を利用する小電力ミリ波レーダの技術的条件」について、電気通信技術審議会（電技審）より一部、答申を受けており、76GHz帯においても、1998年には法制化される見通しである。ミリ波レーダの開発、製品化を行なう上で、各国の電波行政の行方は重要なポイントとなる。

60GHz帯の法制化内容を以下に示す。

- 無線周波数帯：60GHz
- 空中線電力：10mW以下
- 空中線利得：40dB以下
- 周波数帯域幅：1GHz以内

3.2 FM-CWレーダ方式

自動車用レーダに関しては、FM-CW方式、パルス方式、2周波CW方式、SS方式などのレーダ方式があるが、製品化においては、FM-CW(Frequency-Modulated Continuous Waves)レーダ方式を採用した。

以下にFM-CWレーダ方式の原理を説明する。

FM-CWレーダ方式は簡易な構成でターゲットまでの距離と相対速度を同時に計測できることから、自動車搭載機器のようにコストに対する要求の厳しい領域で有効である。

FM-CWレーダの原理図を図-3に示す³⁾。三角波でFM変調した送信波をアンテナより出力する。また、先行車など目標から反射してアンテナで受信した受信波と送信波の一部をミキシングすることでビート信号周波数を得る。

ビート周波数 f_B は式(3)で表される。

$$f_B = f_R \pm f_V \dots \dots \dots (3)$$

f_R ：距離周波数(目標との距離に比例する)

f_V ：速度周波数(目標との間の相対速度に比例する)

式(3)の+符号は送信波の周波数が降下する区間に得られるビート信号の周波数(ダウンビート f_{BD})で、-符号は上昇する区間に得られるビート信号の周波数(アップビート f_{BU})である。

f_{BD} 、 f_{BU} は次式で表される。

$$f_{BD} = f_R + f_V \dots \dots \dots (4)$$

$$f_{BU} = f_R - f_V \dots \dots \dots (5)$$

また、 f_R 、 f_V は次式で表される。

$$f_R = f_0 \cdot f \cdot R \cdot f_m / C \dots \dots \dots (6)$$

$$f_V = 2 \cdot f_0 \cdot V / C \dots \dots \dots (7)$$

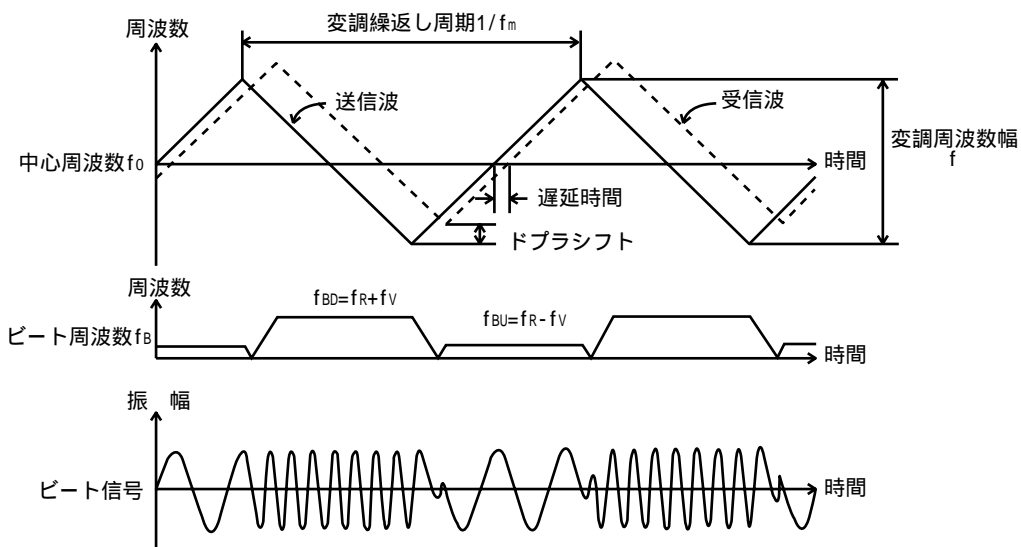


図-3 FM-CW レーダ方式の原理
Fig.3 Principle of FM-CW radar

- C : 電波伝播速度(=光速)
- f_m : 三角波の変調周波数
- f_o : 中心周波数
- f : 三角波の変調幅

式(3)~(7)により距離R、速度Vは次式で導かれる。

$$R = (f_{BD} + f_{BU})C / 8 f f_m \dots\dots\dots (8)$$

$$V = (f_{BD} - f_{BU})C / 4 f_o \dots\dots\dots (9)$$

すなわち、周波数増減区間毎のビート信号周波数 f_{BU} と f_{BD} をそれぞれ計測し、その和と差を計算することで距離を相対速度を求めることができる。

次に、ターゲットからの反射波の受信電力は以下に示すレーダ方程式で求めることができる。

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r}{(4\pi R)^2} \frac{\sigma}{L_a L_r} \dots\dots (10)$$

ここで、

P_t, P_r : 送信および受信電力

G_t, G_r : 送信および受信アンテナ利得

R : ターゲットまでの距離

L_a : 大気減衰

L_r : 降雨減衰

λ : 波長

A : 反射断面積

一般に自動車用レーダでは、数m~100m程度の計測範囲が求められる。ミリ波はマイクロ波以下の周波数に比較して降雨による減衰が大きく、また、60GHz帯は酸素分子により16dB/kmも自由空間伝搬に対して減衰するという特異な性質を持っている。例えば、最大探知距離100mとすると、降雨量が100mm/hrのとき、自由空間伝搬に比べ約9.6dBも減衰が大きいため、これらの値を考慮して必要なアンテナ利得、送信電力等を設計することになる⁴⁾。

3.3 60GHzミリ波レーダ

製品化した60GHz帯ミリ波レーダのブロック図を図-4に示す。本ミリ波レーダはセンサ部と表示器部に分かれており、センサ部は大きく分けて、アンテナ部、ミリ波部、信号処理部から構成されており、また、表示器部は外部との通信に必要な機能を有している。

外観を図-5に主要諸示を表-2に示す。

なお、本ミリ波レーダは、1997年3月より株式会社小松製作所に納入しており、鉱山・砕石現場で使用されるダンプトラックの無人運転を支援するセンサとして使用され、



図-5 60GHz レーダセンサ
Fig.5 60GHz Radar sensor

表-2 ミリ波レーダ主要諸元

項目	諸元
レーダ方式	FM-CW
中心周波数	60.5GHz
送信電力	3mW以下
アンテナ偏波特性	45°直線偏波
ビーム幅	水平2.8°、垂直2.8°
最大検知距離	約100m
速度計測範囲	±100km/h
処理速度	40msec
重量	2kg以下
サイズ	228(W) × 123(H) × 62(D)mm

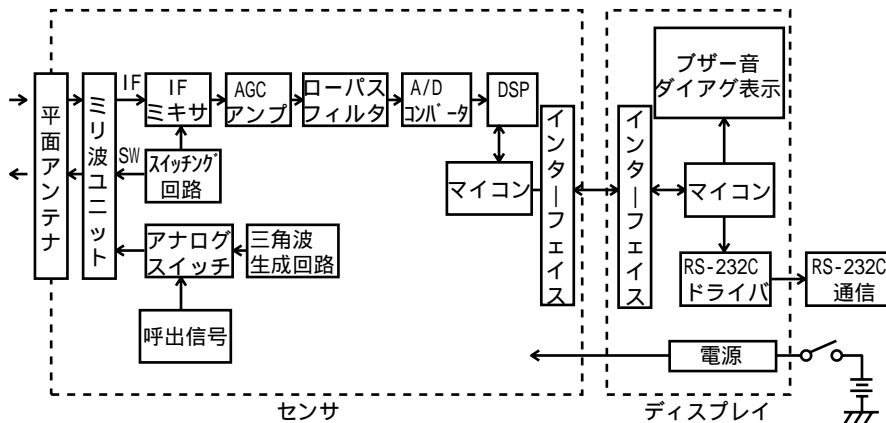


図-4 システムブロック図
Fig.4 Block diagram of 60GHz FM-CW radar

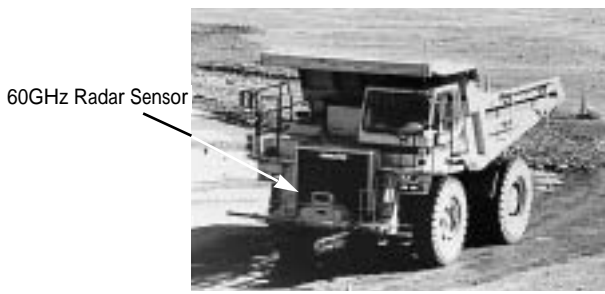


図-6 ダンプトラックに搭載したレーダセンサ
Fig.6 Construction machine equipped with radar sensor

60GHz帯を用いたミリ波レーダとしては、世界で初めての实用化例となっている。図-6にミリ波レーダを搭載したダンプトラックを示す。

3.4 アンテナ部

ミリ波レーダの製品化において、車両への搭載場所、位置の制約から、レーダセンサの小型化や薄型化が重要となり、構造上センサ形状に対して、大きなウエイトを占めるものとしてアンテナが挙げられる。

本センサでは、薄型、小型化に対して、有利なトリプレート線路構造の400素子平面アンテナを使用した(図-7)⁵⁾。本アンテナは、アンテナ利得31dB、ビーム幅2.8°、サイドロー

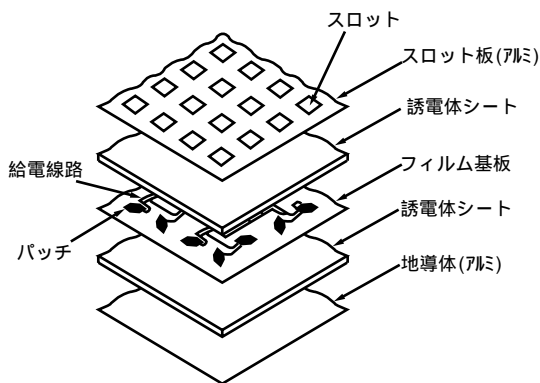


図-7 平面アンテナ構造
Fig.7 Configuration of planar antenna

レベル比 - 10dB以下を有している。

また、自動車レーダの普及に伴い、対向車からの電波干渉を受ける確率が増大することが予想されるため、アンテナの偏波面をレーダに向かって左向き45°に傾けた直線偏波とすることにより、レーダ搭載車同士が対向した場合でも、電波干渉を30dB以上抑圧している。

3.5 ミリ波部

ミリ波レーダの心臓部となるミリ波部の送受信素子として、HEMT(High Electron Mobility Transistor)回路のMMIC(Monolithic Microwave IC)化を行い、無調整化を進めた。

今回、開発したミリ波部の外観を図-8にブロックを図-9に示す。

ミリ波回路は、気密パッケージに封止された30GHzVCOモジュール、送信モジュールおよび受信モジュール(2種)の4種のモジュールで構成している。気密パッケージはミリ波帯に適用するため開発したものである。

30GHzVCOモジュールは、GaAsMESFETとバラクタ・ダイオードを使用したMIC(Microwave IC)構成の電圧制御発振器で、三角波状の変調信号を入力し、FM変調された30GHz帯の信号を出力する。

送信モジュールは、VCOモジュールからの30GHz帯の高周波信号を2週倍して60GHz帯の信号を得る。さらにその信号を送信出力として必要なレベルまで増幅する。送信モジュールは、GaAs基板の上にゲート長0.25μmのAlGaAs HEMTによって構成された週倍器と4段増幅器をMMIC化している。

受信モジュール1は、受信端から入力したターゲットからの微弱な反射信号を増幅する。また、受信モジュール2では、送信側の出力信号の一部を方向性結合器経由でローカル信号として使用して周波数変換し、IF信号を出力する。また、簡易ヘテロダイン受信を行なうため、増幅器のドレイン電圧をオンオフしてスイッチ効果を持たせている。



図-8 ミリ波ユニット
Fig.8 Millimeter-Wave unit for radar sensor

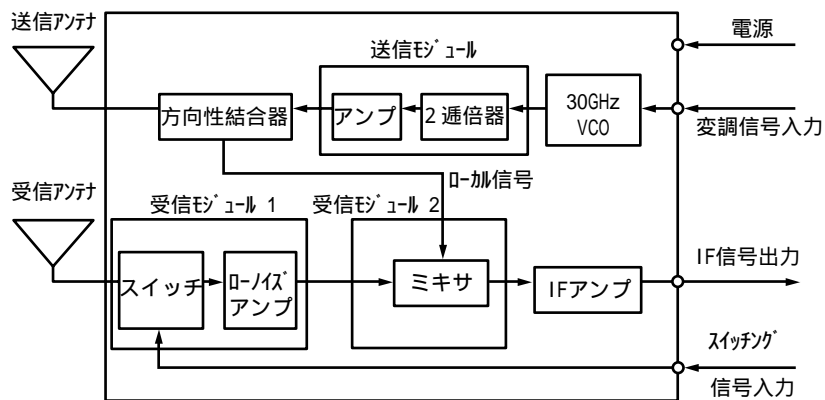


図-9 ミリ波ユニットブロック図
Fig.9 Block diagram of RF unit circuit

受信モジュール 1 および 2 も送信モジュールと同様、HEMTによるMMICを採用し、4段増幅器と周波数変換器を集積化している。

3.6 信号処理とマイコン処理

信号処理部は変調信号発生回路とDSP(Digital Signal Processor)化された信号処理回路から構成した。

変調信号発生回路は、三角波変調信号の他に電波法に定められ郵政省から指定された呼出名称符号を2値FSK信号に変換して発生させる回路も併せ持つ。ビート信号は、アンチエイリアシングフィルタ(ローパスフィルタ)を返して帯域制限された後、A/D変換される。

A/D変換時のサンプリングは、周波数が増加する区間と減少する区間に対し、同期してサンプルする。A/D変換後、それぞれの区間のFFT演算をDSPにより実行してビート信号周波数を求める。この結果を式(8)(9)に代入することにより、距離と相対速度を求めることができる。

マイコン処理部では、距離変化より求めた相対速度と、計測した相対速度値がある値以上の差を生じた時、その目標を不要反射物とみなしデータを消去する。また距離、速度の連続性を判断し、数回、同一目標の連続性が見られたら、正しい目標を補足しているとしてデータを保存し、目標とする。この目標について、過去の目標との連続性判定を行ない、この距離、相対速度を目標のデータとして表示器部に出力している。

4. 設計の要点

本節では設計の要点として、レーダ性能、仕様に関する点について述べる。

4.1 ミリ波ユニット

簡易ヘテロダイン方式の理想的な動作では、スイッチングキャリアはIF周波数に現れない信号であるが、ミリ波領域(60GHz帯)での回路結合、空間結合の不完全性により初期モデルでは、信号より高いレベルのスイッチングキャリアーク(図-10)がIF帯に現れてIF以降の回路動作に影響を与え、信号処理の誤動作という問題が生じた。以下に、スイッチングキャリアークの発生原因と対策について述べる。

4.1.1 スwitchingキャリアーク発生原因

ミリ波ユニットの初期モデルでは、図-9に示す受信モジュールを1つの気密パッケージで構成した。

スイッチングキャリアークがIF信号に現れる原因として、ローカル信号がローノイズアンプ(以下アンプ)入力に回り込んだ場合が考えられ、無変調時のスペクトル解析により確認できる。

これが起こる原因として、アンプ出力端のインピーダ

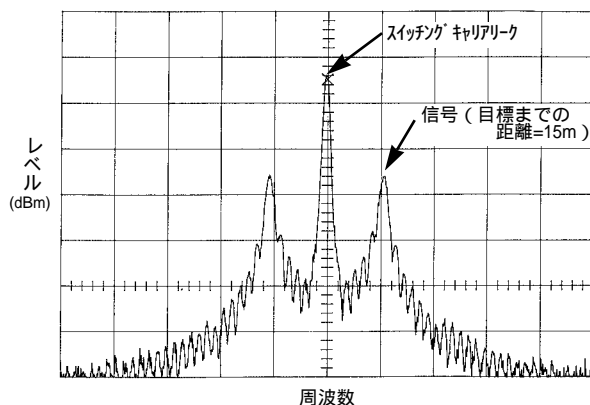


図-10 IF出力(対策前)
Fig.10 Example of IF output (before countermeasure)

ンス不整合によるローカル信号漏れと、ローカル信号が気密パッケージ内での空間的な結合によりアンプ入力に回り込むことが原因であると考えられる。原因の確認として、アンプとミキサ間にアッテネータを挿入し、ローカル信号漏れが低減することを確認した。これはアンプ出力端のインピーダンス不整合によるローカル信号漏れがアッテネータの挿入により改善されたためである。また原因の確認として、気密パッケージの蓋を外し確認した。

4.1.2 キャリアリーク対策

IF出力へのスイッチングキャリアリーク対策として、ミキサとアンプ間にアイソレータを挿入した。これによりアンプ出力端のインピーダンスが整合され、ローカル信号漏れが改善された。アイソレータはフェライトと呼ばれる磁性体でできており、入力を特定の方向のみに出力する機能を有する2ポート受動非相反素子である。

またミキサとアンプをそれぞれ別にパッケージングを行なった。これによりローカル信号の空間的な結合が防止できた。⁶⁾

この結果のIF出力波形を図-11に示すが、スイッチングキャリアリークを初期モデルに対し約30dBm改善した。

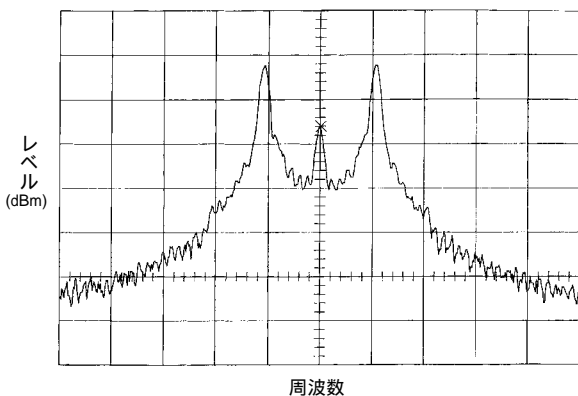


図-11 IF出力（対策後）

Fig.11 Example of IF output (after countermeasure)

4.2 フィルタ特性

ベースバンド帯域幅100kHzに対して、例えば110kHzにピークが出た場合(目標があった場合)、折り返しのピークが90kHz(100kHz - 10kHz)に立ち、仮想目標としてとらえてしまう。これを防ぐためにアンチエイリアシングフィルタ(ローパスフィルタ)を入れ、100kHz以上でのビート周波数の折り返しの防止を図っている。

図-12にベースバンド帯のフィルタ特性を示す。

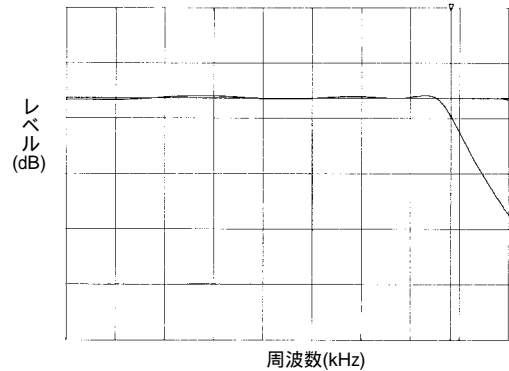


図-12 アンチエイリアシングフィルタ特性

Fig.12 Characteristic of anti-aliasing filter

4.3 時系列処理

安定したレーダ性能を確保するため、ディスプレイ内で時系列処理を行なったデータをシステム側コンピュータへ出力している。

今回の時系列処理の設計において、

(1)処理速度

(2)安定性

について、最良となる様、データ保持数と目標有り判断する時のデータ数を決定した。

図-13に、センサを地面から1.5mの高さに固定し、その前を乗用車が走行した結果を示す。時系列処理前(点線)では遠距離で一部、車両を見失った状態が見られる。しかし、時系列処理後のデータ(実線)は、車両を見失った部分に対しデータ補間が行なわれ、センサ出力として安定していることがわかる。

4.4 ダイアグノーシスとフェイルセーフ

レーダ機能が故障していることを検出するダイアグノーシスは、車載用レーダとして必要条件の1つである。レー

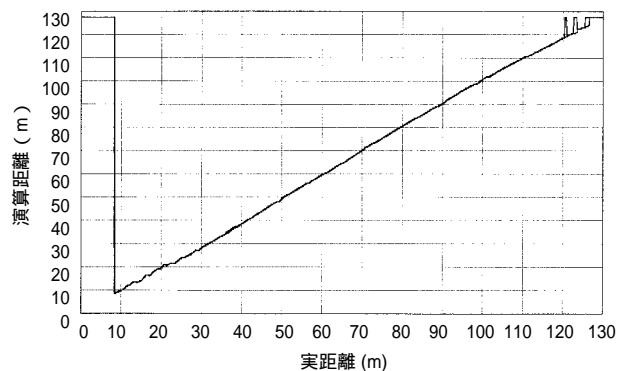


図-13 車両走行データ

Fig.13 Example of range data on actual running test

ダ機能が不能となる故障としては、センサと信号処理器の接続不良やミリ波部の破損が主なものである。

本ミリ波レーダでは、データ通信異常、ミリ波部の送信回路異常、IF出力異常、高温異常などを通信時間、電圧でモニタし、故障発生時には、決められたダイアグコードを出力し相手側コンピュータに知らせるフェイルセーフ機能を有している。

4.5 呼吸構造

本ミリ波レーダのセンサ部は、車両の前面に取付けられるため実使用において、特に耐水性が要求される。耐水構造として密閉構造、ポッティング構造、呼吸構造が考えられるが、それぞれの構造における問題点の検討と実現性より呼吸構造を採用した。

呼吸構造を採用する上で、温度差70 時の水没にもたえる耐水性を確保するため、次の考え方で設計を行なった。

(1) 部品の無い空間を設定し、外部と直接の空気の出入りを無くす構造とした。

(2) 部品の無い空間内は格子状の空気の通路を設定し、水、泥のセンサ内への侵入を防止する構造とした。

この考え方より、センサ内容量に対し、30%の部品の無い空間を確保し耐水性能を満足している。また耐水性能の確認においては、水没試験を実施し、問題ないことを確認している。水没試験はまず、センサを高温槽で85 に熱し、15 の水に水没させる。これを繰り返し実施して部品のある空間に水が入らないことを確認している。

また、この部品の無い空間を確保する上で、ミリ波ユニットの薄型化を行い、部品のある空間の厚さを薄くする形で実現した。

5. レーダ性能

本節では、フィールドでの評価結果を中心に述べる。

5.1 目標反射特性

目標の反射断面積(RCS)は、目標の形状、電波の波長、お

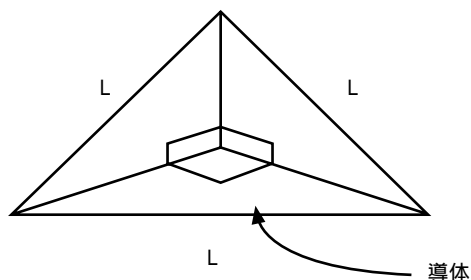


図-14 コーナーリフレクタ
Fig.14 Corner reflector

よび入射角などに依存しており、波長に対し平面と見られる物体は鋭い指向性を示すが、車両後部のように複雑な表面では反射波は広がる。

レーダ性能の測定においては、実際に広い場所で電波を出し、反射波の受信レベルを測定するが、目標の違いなどにより異なった値となる。また同じ目標でも電波のあたる角度により異なるため、レーダ性能を測定する上で、基準反射体(コーナリフレクタ)を用いて行なった。

コーナリフレクタの構造を図-14に示すが、立方体の角を斜めに切り取った構造になっており、各面は完全反射するよう平滑金属板で作っている。

RCSは、次式で表される。

$$RCS = L^4 / 3^2 \dots \dots (11)$$

例として、式(11)より、60GHzでRCS=10dBとするとL=0.12mとなる。今回、使用したコーナリフレクタのRCSは12.2dB(at 60GHz)で乗用車相当である。

5.2 基準反射体による受信強度分布

図-15にコーナリフレクタを10m置きに置いた時の受

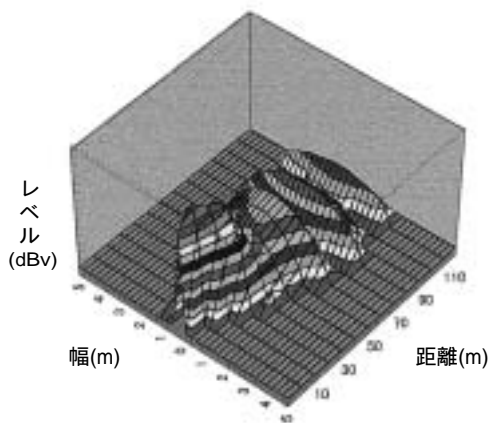


図-15 アスファルト面での受信強度
Fig.15 Receiving signal strength distribution on asphalt paved road

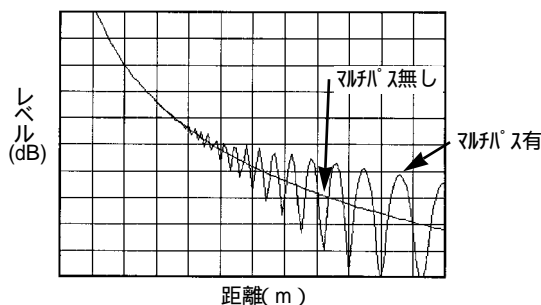


図-16 マルチパスシミュレーション
Fig.16 Example of multipass simulation

信強度の測定結果を示す。測定条件としては、センサおよび、コーナーフレクタの高さはアスファルト面から1.5mで晴天時のデータである。遠距離において、マルチパスによる電波の強め合い、弱め合いが発生しており、図では山と谷の形で現れている。

図-16に同一条件でのマルチパスシミュレーション結果を示すが、実測データとほぼ一致している。

5.3 雪による影響

悪天候時のレーダ性能として、雪を取り上げコーナーフレクタでの受信強度分布と、目標車両が積雪している場合、センサ前面が積雪している場合についての評価結果を述べる。

5.3.1 雪面での受信強度分布

雪面での、受信強度分布を図-17に示す。測定条件は図-15と同じであるが、路面の状態が変わる事により、特に遠距離において受信強度分布が変わる事がわかる。これは路面の反射係数が変わりマルチパスの出方が変わるためである。

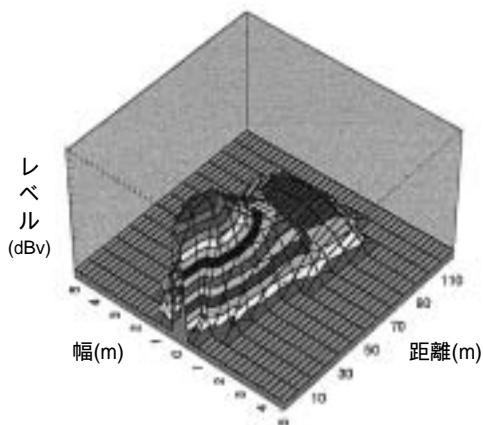


図-17 雪面での受信強度分布

Fig.17 Receiving signal strength distribution on road covered by snow

5.3.2 目標車両の積雪

車両への積雪の有無によるレーダ検知性能の違いについて評価を行った。図-18に目標車両の積雪有無の違いを示す。(a)の積雪無しに対して、(b)は後面を全て雪で覆い、この状態で雪路面上を走行した。

結果を図-19に示すが、車両への積雪の有無による最大探知性能にはあまり差は無く両方とも125m程度の探知結果となり、車両への積雪による影響をあまり受けないことを確認した。

5.3.3 センサ前面の積雪

センサ前面に積雪した場合の最大検知距離の評価結果

を表-3に示す。センサ前面への積雪方法としては、発泡スチロール(厚さ10mm)に雪をつめセンサの前面に置く方法で行なった。なお、発泡スチロールの影響は無い事を確



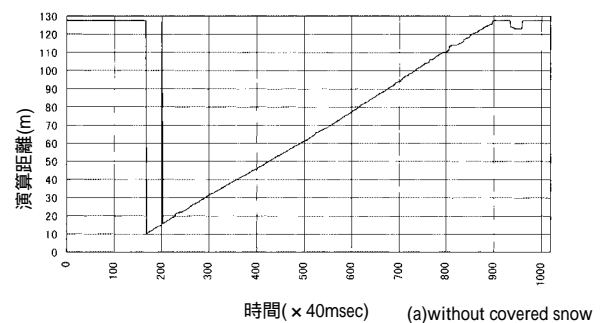
(a)without covered snow



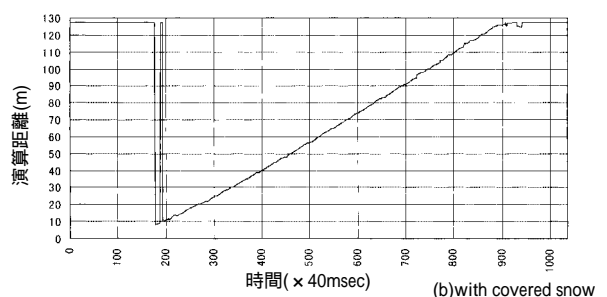
(b)with covered snow

図-18 車両後面への積雪の様子

Fig.18 Test scene on examining influence of covered snow on the test car



時間(×40msec) (a)without covered snow



時間(×40msec) (b)with covered snow

図-19 車両への積雪有無による走行結果

Fig.19 Results for running vehicle measurement

認している。評価結果よりセンサ前面への積雪のレベルにより探知性能に差が出る事を確認した。センサ前面への積雪が2cmの場合は、レーダの検知性能に影響が出ないが4cmの場合は、最大検知距離が約3割程度劣化する事を確認した。センサの車両への取付場所にもよるが、実使用における車両への積雪状態を調べる必要がある。また今回の評価で、センサ前面への積雪の厚さが同じであれば、雪の密度には関係しない事を確認した。

5.4 製品信頼性

今回、製品化を行なったミリ波レーダを用いて、種々の信頼性試験を実施し、問題無い事を確認している。

製品信頼性の確認においてはセンサ使用環境を考慮し、試験条件などを決定した。特に、温度、湿度、振動および耐水に関しては、試験における加速度を設定し、さらに各試験を組合せ複合化することにより、厳しい状況での信頼性の確認を実施した。

また、各個別パーツにおいても同様な考え方で試験を実施し、問題無い事を確認している。

6. 終わりに

ミリ波レーダは、現在、日米欧の国家プロジェクトとして、活発な活動が展開されているITS(Intelligent Transport System)やAHS(Automated Highway System)などの中で、車間維持制御システムや危険警告システムを実現するための搭載機ならびにインフラ用のキーコンポーネントの一つとして、その実用化が多いに期待されている。

今後、更なる小型、軽量化、低コスト化を推進しユーザの要望に的確に応じられるよう対応していきたい。

最後に、製品化において、ご協力いただいた株式会社小松製作所建機研究所、富士通株式会社ワイヤレスシステム事業部第3技術部、日立化成工業株式会社機能部材部の関係各位に深く感謝いたします。

<参考文献>

- 1) (財)無線検査検定協会：ミリ波センシングシステムの開発に関する調査研究報告書．CCIR Rep.712-2. (March 1988)
- 2) T.Sakamoto et al.,:Application of mm wave Radar for Vehicles.FUJITSU TEN TECHNICAL REPORT, Vol.2 No.2(1984).
- 3) 藤村：車間計測用ミリ波レーダ.センサ技術，Vol.13，No.11(1993年10月号)
- 4) K.Fujimura et al.,:60GHz Millimeter-Wave Automotive Radar.FUJITSU.47,4,(07,1996).
- 5) 太田、石坂他:60GHzトリプレート給電型パッチアンテナの放射特性．1993年電子情報通信学会秋季大会，B-114.
- 6) 戸澤：ミリ波レーダのスイッチングキャリア漏れのメカニズムと対策．富士通技術報告書(SEP.1996)

筆者紹介



山脇 俊樹(やまわき としき)

1984年入社。以来、カーオーディオ用ハイブリッドIC、ミリ波レーダの開発に従事。現在ITS統括部ITS開発部第一開発課在籍。



山野 眞市(やまの しんいち)

1980年入社。以来、電装製品のハード設計に従事。1996年よりミリ波レーダシステムの設計に従事。現在ITS統括部ITS開発部第一開発課課長。